

Original document

Micro-mechanical relay with hybrid drive - has electrostatic drive combined with piezoelectric drive for high force operation and optimum response

Patent number: DE4305033

Publication date: 1993-10-28

Inventor: GEVATTER HANS-JUERGEN PROF DR (DE); KIESEWETTER LOTHAR PROF DR ING (DE); SCHIMKAT JOACHIM DIPL PHYS (DE); SCHLAAK HELMUT DR ING (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:

- international: H01H59/00; H01H57/00; H04R17/00

- european:

Application number: DE19934305033 19930218

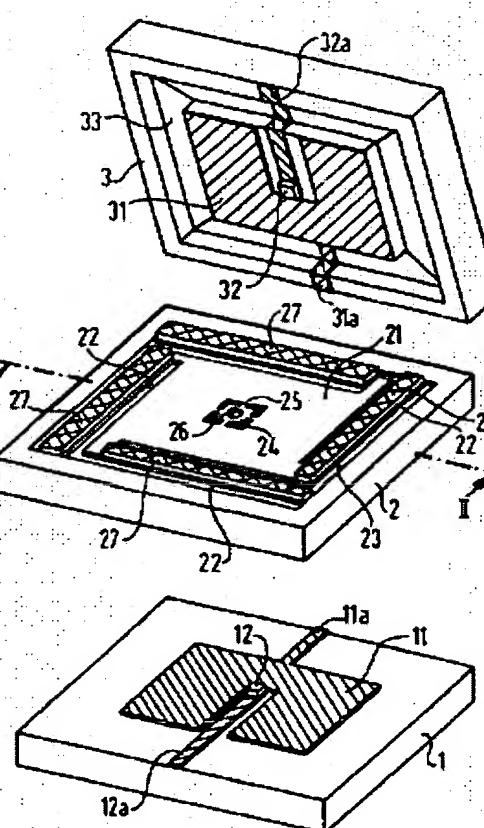
Priority number(s): DE19934305033 19930218; DE19924244647 19920221

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4305033

The unit has a base substrate (1), an armature (2) and a cover substrate (3). The base has an electrode (11) with connector tracks (11a,12a) and a base contact. The armature has an etched plate shaped armature element (21), with a surrounding band (22) and electrode (22). The band has a piezoelectric layer (27). At the centre of the armature plate is a contact plate (24) with a centre contact (26). The cover has an electrode (31) with an electrode (32a) having a central contact (32). The three substrates are assembled as a single unit. The piezo layer provides an actuator force for the relay together with the electrostatic force. ADVANTAGE - Better response characteristic with high contact force.



THIS PAGE BLANK (USPTO)



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**

⑩ DE 43 05 033 A 1

51 Int. Cl. 5:
H 01 H 59/00
H 01 H 57/00
H 04 R 17/00

DE 4305033 A 1

(21) Aktenzeichen: P 43 05 033.6
(22) Anmeldetag: 18. 2. 93
(43) Offenlegungstag: 28. 10. 93

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1

21.02.92 DE 42 44 647.3

⑦1 Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

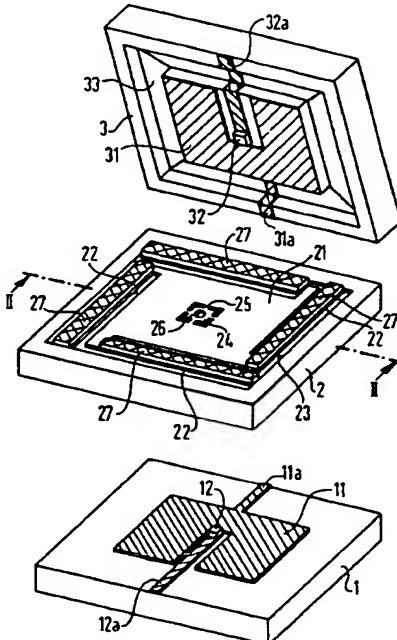
⑦2 Erfinder:

Gevatter, Hans-Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin,
DE; Kiesewetter, Lothar, Prof. Dr.-Ing., 1000 Berlin,
DE; Schimkat, Joachim, Dipl.-Phys., 1000 Berlin, DE;
Schlaak, Helmut, Dr.-Ing., 1000 Berlin, DE

54 Mikromechanisches Relais mit Hybridantrieb

57) Das mikromechanische Relais besitzt einen aus einem Ankersubstrat (2) herausgeätzten plattenförmigen oder zungenförmigen Anker (21), der elastisch mit dem Ankersubstrat verbunden ist und mit einer Basiselektrode (11) eines darunter liegenden Basissubstrats einen elektrostatischen Antrieb bildet. Außerdem ist auf dem Anker bzw. auf einzelnen den Anker tragenden Lagerbändern (22) jeweils eine Piezoschicht vorgesehen, welche als Biegewandler wirkt und einen zusätzlichen Antrieb bildet. Beim Anlegen einer Spannung an die Elektroden des Ankers (23), des Basissubstrats (1) und der Piezoschicht (27) wird der Anker an das Basissubstrat angezogen und liegt dann großflächig auf der Basis unter Schließen mindestens eines Kontakts auf.

Dabei überlagern sich die unterschiedlichen Charakteristiken des elektrostatischen Antriebs einerseits und des Piezoantriebs andererseits, so daß sowohl zu Beginn der Ankerbewegung eine starke Anzugskraft als auch nach dem Anziehen des Ankers eine starke Kontaktkraft erzeugt werden.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

BUNDESBLICKEREI 09/83 308 043/171

12/46

Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Relais mit einem Basissubstrat, welches eine flächige Basis-elektrode und zumindest ein feststehendes Gegenkontaktstück trägt, und mit mindestens einem flachen Anker, welcher an mindestens einer Seite elastisch mit einem Träger verbunden ist und eine der Basiselektrode gegenüberliegende Ankerelektrode sowie ein dem Gegenkontaktstück gegenüberliegendes Ankerkontaktstück aufweist, derart, daß bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Ankerelektrode und der Basiselektrode der Anker an die Basis angezogen wird.

Ein mikromechanisches Relais mit elektrostatischem Antrieb ist beispielsweise bekannt aus einem Aufsatz von Minoru Sakata: "An Electrostatic Microactuator for Electro-Mechanical Relay", IEEE Micro Electro Mechanical Systems, February 1989, Seiten 149 bis 151. Dort ist ein aus einem Siliziumsubstrat freigeätzter Anker über zwei Torsionsstege in einer Mittellinie so gelagert, daß jeder seiner beiden Flügel einer unterhalb liegenden Basiselektrode gegenübersteht. Für eine elektrostatische Erregung dieses Relais wird jeweils Spannung zwischen der Ankerelektrode und einer der beiden Basiselektroden angelegt, so daß der Anker wahlweise eine Schwenkbewegung nach der einen oder anderen Seite ausführt. Aufgrund des Abstandes der Torsionslagerung zur Basis verbleibt auch nach der Schwenkbewegung ein gewisser keilförmiger Luftspalt zwischen den Elektroden, so daß die elektrostatische Anziehungskraft verhältnismäßig gering bleibt. Dies wirkt sich auch in einer relativ geringen Kontaktkraft aus.

In der DE 32 07 920 C2 ist bereits ein Verfahren zur Herstellung eines elektrostatischen Relais beschrieben. Dort wird ein Anker aus einer Rahmenplatte aus kristallinem Halbleitermaterial herausgeätzt; mit der Rahmenplatte wird der Anker auf eine isolierende Unterlage gesetzt, welche auch die Gegenelektrode trägt. Allerdings besteht zwischen dem Anker und der Gegenelektrode ein verhältnismäßig großer Abstand, der auch bei angezogenem Anker erhalten bleibt. Um bei diesem Abstand zwischen Anker und Gegenelektrode die gewünschten Kontaktkräfte zu erzeugen, sind bei diesem bekannten Relais verhältnismäßig große Spannungen erforderlich.

Generell hat ein elektrostatischer Antrieb für Relais den Nachteil, daß zu Beginn der Ankerbewegung, also bei großem Abstand zwischen den Elektroden, die Anzugskraft relativ gering ist, so daß das Relais nur zögernd anspricht bzw. hohe Ansprechspannungen erfordert. Ziel der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, ein derartiges mikromechanisches Relais so weiterzubilden, daß die Ansprechcharakteristik verbessert wird, daß also die Vorteile des elektrostatischen Antriebs — eine relativ hohe Kontaktkraft bei angezogenem Anker — erhalten bleiben, zugleich aber die Kräfte zu Beginn des Ansprechens erhöht werden.

Erfahrungsgemäß wird dieses Ziel dadurch erreicht, daß der Anker zumindest teilweise mit einer als Biegewandler wirkenden Piezoschicht versehen ist, deren Biegekraft bei Erregung die elektrostatische Anzugskraft zwischen der Basiselektrode und der Ankerelektrode unterstützt.

Bei dem erfahrungsgemäßen Relais ist also der Anker zusätzlich zu dem elektrostatischen Antrieb mit einem Piezoantrieb versehen. Bei diesem so gebildeten Hybridantrieb werden die Eigenschaften zweier Antriebsysteme nutzbringend derart kombiniert, daß die Vor-

teile des einen Antriebs die Nachteile des jeweils anderen Antriebs aufwiegen: Der Piezoantrieb kann den Anker um ein großes Wegstück bzw. über einen großen Schalthub verschieben, erzeugt aber bei großer Ankerauslenkung, d. h. in der Arbeitsposition, nur eine kleine Kraft. Andererseits erzeugt der elektrostatische Antrieb zwar in der Arbeitsstellung, d. h. bei angezogenem Anker, eine große Kontaktkraft, jedoch ist die elektrostatische Anzugskraft zu Beginn der Ankerbewegung, 10 also bei großen Elektrodenabständen, nur gering.

Beim Hybridantrieb der hier vorgeschlagenen Art sind auf dem Lagerabschnitt oder den Lagerbändern des Ankers jeweils mehrere Schichten vorgesehen, von denen eine ein Piezoelektrikum ist. Dieser Verbund aus Lagerband und piezoelektrischer Schicht krümmt sich bei angelegter Spannung und senkt den Anker in Richtung auf das Basissubstrat ab. Auf dem Weg des Ankers von der Ruheposition zur Arbeitsposition wird die von dem Piezobiegewandler ausgeübte Kraft kleiner, während die elektrostatische Kraft zwischen den Elektroden größer wird und in der Arbeitsposition über die vom Piezoantrieb erzeugte Kraft dominiert. Nach Abschalten der Antriebsspannung wird das Rückfallen des Ankers durch die rücktreibende Federkraft der Ankerfedern verursacht. Möglich wäre auch eine Unterstützung der Rückfallbewegung durch einen zweiten elektrostatischen Antrieb unter Verwendung einer Elektrode auf einem gegebenenfalls vorhandenen, dem Basissubstrat gegenüberliegenden Deckelsubstrat.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Anker in Plattenform innerhalb eines rahmenförmigen Ankersubstrats als Träger über mindestens zwei elastische Lagerbänder symmetrisch parallel zur Basiselektrode gehalten, so daß er bei Anlegen einer Spannung zwischen der Basiselektrode und der Ankerelektrode sich senkrecht zur Elektrodenebene ganz flächig an die Basiselektrode anlegt, wobei zumindest ein Teil der Lagerbänder mit der Piezoschicht versehen ist.

Das Ankerkontaktstück bzw. die Ankerkontakte können als Brückenkontakte jeweils mit einem Paar von Basiskontaktstücken zusammenarbeiten. In diesem Fall benötigt der Anker neben der Zuleitung der Ankerelektrode keine eigene Stromzuführung. Es ist aber auch möglich, das Ankerkontaktstück bzw. die Ankerkontakte jeweils mit einer eigenen flexiblen Stromzuführung zu versehen. Diese kann über eines der Lagerbänder verlaufen oder aber auf einem eigenen Stromzuführungsband gebildet sein. Lagerbänder und Stromzuführungsänder werden zweckmäßigerweise durch Schichtabtragung und Freilegung ebenso wie der Anker aus einem einstückigen Substrat gebildet. Hierfür kommt Silizium oder ein vergleichbares Material mit ähnlichen mechanischen Eigenschaften in Betracht.

Generell bildet der Anker mit dem Basissubstrat einen oder auch mehrere Schließenkontakte. Es ist aber auch möglich, einen Öffner- bzw. einen Umschaltkontakt zu bilden. Zu diesem Zweck wird auf dem Ankersubstrat dem Basissubstrat gegenüberliegend ein zusätzliches Deckelsubstrat angeordnet, welches mindestens ein Ruhekontaktstück trägt, an welchem jeweils ein Ankerkontaktstück im Ruhezustand unter Vorspannung anliegt.

In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform ist der Anker in Form einer die Ankerelektrode und die Piezoschicht tragenden Zunge einseitig mit einem Ankersubstrat schwenkbar verbunden. Bei diesem Relais wird mit einem mehr oder weniger keilförmigen Luftspalt zwischen Anker und Basis von Beginn an eine

relativ hohe elektrostatische Anzugskraft erzeugt, die jedoch durch Überlagerung mit der piezoelektrischen Kraft noch verbessert wird. Vorzugsweise ist dabei die Basiselektrode auf einem schräg geätzten Abschnitt des Basissubstrats angeordnet, derart, daß die Ankerelektrode mit ihr im Ruhezustand den erwähnten keilförmigen Luftspalt bildet und sich im Erregungszustand annähernd parallel an sie anlegt. Da hierbei nach dem Anziehen des Ankers zwischen den Elektroden, abgesehen von den notwendigen dünnen Isolierschichten, keinerlei Luftspalt verbleibt, lassen sich verhältnismäßig hohe Kontaktkräfte gewinnen.

Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Anordnung mit Basis-, Anker- und Deckelsubstrat zur Bildung eines Umschaltrelais mit elektrostatischem und piezoelektrischem Antrieb,

Fig. 2a bis 2e die verschiedenen Herstellphasen eines Relais nach Fig. 1 anhand einer Schnittdarstellung,

Fig. 3 und 4 zwei abgewandelte Ankerausführungsformen,

Fig. 5 eine schematische Ansteuerschaltung für ein Hybridrelais,

Fig. 6 ein schematisiertes Kräftediagramm für ein Hybridrelais,

Fig. 7 eine weitere Ausführungsform eines Hybridrelais mit einem zungenförmigen, einseitig gelagerten Anker und

Fig. 8 eine vergrößert dargestellte, nicht maßstäbliche Schnittdarstellung der Schichten im Anker- und Basissubstrat eines Relais gemäß Fig. 7.

Fig. 1 zeigt schematisch ein Wechslerkontaktsystem mit Hybridantrieb in perspektivischer Darstellung der Einzelteile.

Es besteht aus einem Basissubstrat 1, einem Ankersubstrat 2 und einem Deckelsubstrat 3. Das Basissubstrat 1 besitzt eine Basiselektrode 11 mit einer Anschlußbahn 11a sowie ein Basiskontaktstück 12 mit einer Anschlußbahn 12a.

Das Ankersubstrat 2 ist rahmenförmig ausgebildet und besitzt in der Mitte einen freigeätzten plattenförmigen Anker 21, der über Lagerbänder 22 einstückig mit dem Substrat 2 verbunden ist. Die Lagerbänder 22 sind in diesem Fall parallel zu den Seitenwänden des Ankers bzw. des Substrats angeordnet, so daß sie eine möglichst große Länge aufweisen. Der Anker besitzt eine Ankerelektrode 23 in Form einer nicht weiter sichtbaren leitenden Schicht. Außerdem ist mittig im Anker eine Kontaktplatte 24 über Haltestege 25 aufgehängt. Die Kontaktplatte 24 besitzt ein nach beiden Seiten überstehendes Wechslerkontaktstück 26. Dieses Kontaktstück 26 ist über eine nicht dargestellte Leiterbahn mit einem Anschluß zum Lastkreis verbunden. Es wäre aber auch möglich, am Anker eine Kontaktbrücke vorzusehen, die dann mit jeweils zwei Kontaktstücken am Basissubstrat bzw. am Deckelsubstrat zusammenarbeiten würde.

Zusätzlich sind auf den Lagerbändern 22 jeweils Piezoschichten 27 angeordnet, die gemeinsam mit den Lagerbändern 22 als Biegewandler wirken. Bei Anlegen einer entsprechenden Spannung krümmen sich also die aus den Piezoschichten 27 und den Lagerbändern 22 bestehenden Biegewandler in der Weise, daß der Anker 21 in Richtung auf das Basissubstrat 1 abgesenkt wird. Damit wird die elektrostatische Anziehung zwischen der Basiselektrode 11 und der Ankerelektrode 23 unterstützt und ergänzt. In Fig. 1 sind die Anschlüsse für die Ankerelektrode, für das Ankerkontaktstück sowie für die Piezowandler nicht gezeigt. Sie werden in üblicher

Weise als Leiterbahnen auf dem Substrat erzeugt.

Die beiden Substrate 1 und 2 von Fig. 1 könnten für sich bereits ein Relais mit Schließerkontakt bilden. Im vorliegenden Beispiel ist allerdings ein Wechslerkontakt dadurch gebildet, daß zusätzlich ein Deckelsubstrat 3 aufgesetzt wird. Dieses Deckelsubstrat ist im wesentlichen wie das Substrat 1 gestaltet. Es besitzt im Mittelbereich eine Deckelelektrode 31, wobei diese jedoch für die Funktion des Relais nicht unbedingt erforderlich wäre. Außerdem ist mittig ein Deckelkontaktstück 32 mit einem entsprechenden Anschluß 32a vorgesehen; auch ein Anschluß 31a für die Deckelelektrode ist gezeigt. Rings um die Elektrode ist außerdem eine Nut 33 eingefürt, die die Beweglichkeit der Lagerbänder 22 mit den Piezoschichten 27 gewährleistet.

Die drei Substrate 1, 2 und 3 werden aufeinandergefügt, wie anhand von Fig. 2 noch näher gezeigt werden wird. Durch das Fügen der drei Substrate entsteht bereits ein Relais mit dichtem Gehäuse, das einen Umschaltkontakt beinhaltet. In der Ruhestellung wird das Kontaktstück 26 von den elastischen Haltestegen 25 gegen das erhabene Kontaktstück 32 des Deckelsubstrates 3 gedrückt. Dadurch wird ein Ruhestromkreis geschlossen.

Bei Erregung des Relais wird eine Spannung einerseits zwischen der Basiselektrode 11 und der Ankerelektrode 21, andererseits auch an die Piezoschichten 27, angelegt. Dadurch wird der Anker 21 sowohl durch die elektrostatische Anziehungskraft als auch durch den piezoelektrischen Biegewandler in Richtung auf die Basiselektrode 1 abgesenkt. Der Absenkbewegung der Ankerplatte 21 ist aufgrund der Durchbiegung der Lagerbänder 22 eine leichte Drehbewegung überlagert, die zu einem Reiben der Kontaktflächen führt. Dadurch werden die Kontaktflächen gereinigt.

Auf dem Weg des Ankers von der Ruheposition zur Arbeitsposition wird die vom Piezobimorph ausgeübte Kraft zunehmend kleiner, während die elektrostatische Kraft zwischen den Elektroden größer wird und in der Arbeitsposition über die vom Piezoantrieb erzeugte Kraft dominiert. Nach Abschalten der Antriebsspannung wird der Anker durch die rücktreibende Federkraft der elastischen Lagerbänder 22 in seine Ruheposition zurückgestellt. Im vorliegenden Fall kann das Rückfallen durch einen zweiten elektrostatischen Antrieb unter Verwendung der Deckelelektrode 31 unterstützt werden. In diesem Fall wird also eine Spannung zwischen dem Anker 21 bzw. der Ankerelektrode 23 und der Deckelelektrode 31 angelegt.

Im folgenden soll ein mögliches Herstellungsverfahren für das Relais gemäß Fig. 1 anhand der Fig. 2a bis 2e beschrieben werden. Dabei zeigen die Fig. 2a bis 2d jeweils einen Schnitt II-II durch das Ankersubstrat 2 in Fig. 1, während Fig. 2e einen Schnitt durch die gleiche Ebene II-II nach Aufsetzen des Basissubstrats und des Deckelsubstrats zeigt.

In Fig. 2a ist also ein Schnitt durch das Ankersubstrat 2 gezeigt. Es handelt sich dabei um einen Silizium-Wafer von beispielsweise 250 μm Dicke. Die Unterseite des Substrats wird zunächst mit einer Ätzmaske 201 versehen; dies dient als Vorbereitung für die spätere Freilegung des Ankers durch anisotropes Ätzen. Dann werden auf der Oberseite des Substrats 2 die Flächen für die Lagerbänder 22, für den Anker 21, für die Haltestege 25 und die Kontaktplatte 24 mit Bor in sehr hoher Konzentration ($> 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) dotiert. Diese hoch bordotierte Schicht 202 wird beim nachfolgenden Ätzen, beispielsweise mit KOH oder Ethylenamin als Ätzlösung

oder beim elektrochemischen Ätzen mit KOH nicht angegriffen. Für den Anker dient diese hochdotierte Schicht gleichzeitig als Elektrode. Im Bereich der späteren Kontaktplatte 24 wird eine (oder mehrere) nicht mit Bor dotierte Stelle 203 vorgesehen. Diese Stelle 203 wird später weggeätzt und bildet dann ein Loch für das Kontaktstück 26 in der Kontaktplatte 24.

Die bordotierten Stellen 202 des Substrats werden mit einer SiO₂-Schicht 204 versehen. An den nicht bordotierten Stellen 205 der späteren Kontaktplatte übertritt die SiO₂-Schicht die bordotierte Fläche zur Mitte hin und überdeckt damit teilweise die Stelle des späteren Loches 203.

Im Bereich der Lagerbänder und im Randbereich der nicht bordotierten Stelle 203 der späteren Kontaktplatte wird auf der SiO₂-Schicht eine elektrisch leitfähige Schicht 206 abgeschieden. Sie dient später im Bereich der Lagerbänder als untere Elektrode für das Piezoelektrikum, im Bereich der Kontaktplatte als Galvanikstartschicht für den Aufbau des Wechslerkontakte.

Gegebenenfalls kann vor dem Abscheiden der elektrisch leitfähigen Schicht 206 eine geeignete, an sich bekannte, Zwischenschicht zur Haftvermittlung und/oder als Diffusionssperrschicht abgeschieden werden (z. B. Gold mit Zwischenschicht Titan-Wolfram).

Wie in Fig. 2a weiter gezeigt ist, wird im Bereich der Lagerbänder auf der elektrisch leitfähigen Schicht 206 ein piezoelektrisches Material 207 abgeschieden, z. B. durch Aufputtern von ZnO oder durch einen Sol-Gel-Prozeß für PZT. Das Piezoelektrikum übertritt die darunterliegende Elektrode 206 lateral. Damit wird später ein Kurzschluß der beiden Elektroden für den Piezowandler verhindert.

Auf der Oberseite des Piezoelektrikums 207 wird eine weitere elektrische leitfähige Schicht 208 als zweite Elektrode für den Piezowandler abgeschieden (siehe Fig. 2b). Die laterale Ausdehnung dieser zweiten Elektrodenschicht 208 ist geringer als die laterale Ausdehnung des Piezoelektrikums 207. Darüber wird eine Schicht 209 aus ätzbeständigem Material, z. B. SiO₂ abgeschieden.

Gemäß Fig. 2c wird das Substrat in einer selektiv und anisotrop ätzenden Flüssigkeit, z. B. KOH, von beiden Seiten soweit geätzt, bis der Anker 21, die Lagerbänder 22, die Haltestege 25 und die Kontaktplatte 24 völlig freiliegen. Da der Schnitt II-II durch die Haltestege 25 geführt ist, sind in Fig. 2 Anker und Kontaktplatte als durchgehende Schichten zu sehen. Anschließend wird das Substrat ohne Maske von der Rückseite aus mit SiO₂ beschichtet. Diese SiO₂-Schicht 209 kann beispielsweise durch Sputtern erzeugt werden.

Auf den jetzt freiliegenden, metallisierten Flächen der Kontaktplatte 24 wird galvanisch ein Kontaktmaterial 210, z. B. Gold, abgeschieden. Die aufwachsende Galvanik dringt durch die beim Ätzen entstandenen Löcher 203 zur Rückseite des Substrats hindurch und bildet dort ebenso wie auf der Oberseite einen Teil des elektrischen Kontaktstückes 26 (Fig. 2d).

Für die Herstellung des in Fig. 1 gezeigten Deckelsubstrats wird auf einem Silizium-Wafer anisotrop ein ringförmiger Graben zur Erzeugung der Nut 33 geätzt. Die auf der Innenseite des Grabens liegenden konvexen Ecken werden dabei mit an sich bekannter Technik durch Maskenvorhalte vor einem Wegätzen geschützt.

Auf dem Substrat 3 wird eine fotolithografisch strukturierte, elektrisch leitfähige Schicht abgeschieden. Ein Teil dieser Schicht dient als die Deckelelektrode 31 für einen elektrostatischen Antrieb, der davon isolierte Teil

dient als Leiterbahn 32a zum Kontaktstück 32 sowie als Galvanikstartschicht für dieses Kontaktstück. Da das galvanisch abgeschiedene Kontaktstück die Oberfläche des Deckelsubstrats übertritt, entsteht der Kontaktdruck des Ruhekontakte. Über der leitfähigen Schicht wird mit Ausnahme des Bereiches, an dem später das Kontaktstück 32 gebildet wird, eine elektrisch isolierende Schicht, z. B. SiO₂, abgeschieden. An dem durch die elektrisch isolierende Schicht nicht abgedeckten Bereich der leitfähigen Schicht wird galvanisch ein Kontaktmaterial, z. B. Gold, abgeschieden. Auf diese Weise wird das Kontaktstück 32 oder es werden bei einer anderen Konfiguration auch mehrere Kontaktstücke, gebildet.

Das Basissubstrat 1 wird in gleicher Weise wie das Deckelsubstrat 3 gebildet, wobei jedoch das Heraussägen der ringförmigen Grube entfällt. Auf dem Basissubstrat kann auch mittig ein Podest vorgesehen werden, durch das die Elektrodenfläche 11 mitsamt dem Kontaktstück 12 näher an die Ruheposition des Ankers herangebracht wird. Dadurch würde der zu überwindende Schalthub verringert. Ein solches Podest könnte man durch anisotropes Ätzen erzeugen.

Gemäß Fig. 2e werden auf das Ankersubstrat 2 von unten das Basissubstrat 1 und von oben das Deckelsubstrat 3 mit an sich bekannter Verbindungstechnik, z. B. durch anodisches Bonden, gefügt. Wie in Fig. 2e zu sehen ist, liegt das Ankerkontakte 26 an dem Deckelkontakte 32 an, wodurch der Anker leicht nach unten durchgedrückt und die Lagerbänder 22 leicht ausgeknickt werden.

Je nach gewünschter Kontaktfiguration können entweder ein oder mehrere Brückenkontakte vorgesehen werden, wobei auf den feststehenden Substraten 1 und 3 jeweils Kontaktelemente paarweise angeordnet sind, die durch Kontaktbrücken des Ankers ohne eigenen Anschluß überbrückt werden. Besitzt jedoch der Anker ein Kontaktstück mit eigenem Anschluß, so kann dieser Anschluß auf unterschiedliche Weise bewerkstelligt werden. Beispielsweise kann eine Anschlußleiterbahn als isolierte elektrische Schicht auf einem Lagerband unterhalb der Piezoelektrode geführt werden. Es ist aber auch möglich, eine Leiterbahn 26a auf einer zusätzlichen Ankerfeder 28 herauszuführen, die dann keinen Piezobimorph trägt. Eine solche Gestaltung ist in Fig. 3 schematisch dargestellt.

In einer anderen Ausgestaltung gemäß Fig. 4 könnte aber auch eine Leiterbahn 26a auf einem der vier Lagerbänder des Ankers angeordnet werden. In diesem Fall wären also drei Lagerbänder 22 jeweils mit einer Piezoschicht 27 versehen, während auf dem vierten Lagerband 29 die Leiterbahn 26a geführt würde.

Fig. 5 zeigt eine einfache Schaltung für einen Hybridantrieb gemäß Fig. 2. Dabei liegt eine Basiselektrode 11 parallel zu einer Ankerelektrode 23, welche plattenförmig einander gegenüberstehen und bei Anlegung einer Spannung von der Spannungsquelle 40 als elektrostatischer Antrieb dienen. Parallel zu diesem elektrostatischen Antrieb liegt ein Piezowandler 41 mit seinen Elektroden 42 und 43, wobei die Elektrode 43 von der gleichen Schicht wie die Elektrode 23 gebildet sein kann. Über den Schalter 44 können der elektrostatische Antrieb mit den Elektroden 11 und 23 sowie der Piezoantrieb mit den Elektroden 42 und 43 parallel an die Spannungsquelle 40 angelegt werden. Dabei sprechen beide Antriebe gleichzeitig an und überlagern ihre Kräfte zum Schließen des jeweiligen Kontaktes.

Die Charakteristik der beiden Antriebe ist schema-

tisch in Fig. 6 gezeigt. Über einer Achse für den Ankerabstand s ist die Kraft F aufgetragen. Im Ruhezustand, wenn der Ankerabstand den Wert a besitzt, ist die mit f_1 bezeichnete elektrostatische Kraft verhältnismäßig gering; sie steigt mit zunehmender Annäherung des Ankers an die Basiselektrode an und erreicht einen hohen Wert, wenn der Abstand s gegen 0 geht. Die piezoelektrische Anziehungskraft, mit f_2 bezeichnet, ist am größten am Anfang der Ankerbewegung, also bei großem Ankerabstand. Sie wird mit zunehmender Auslenkung des Biegewandlers zur Basiselektrode hin kleiner. Somit kompensiert die piezoelektrische Kraft f_2 bei dem großen Ankerabstand a den geringen Wert von f_1 , während die elektrostatische Kraft f_1 nach dem Schließen des Ankers den kleinen Wert der piezoelektrischen Kraft f_2 kompensiert. Es entsteht dabei ein Gesamtverlauf der Kräfte f_3 , der über den gesamten Wegverlauf die entgegengewirkende Federkraft f_4 der elastischen Lagerbänder zu überwinden und bei geschlossenem Anker eine große Kontaktkraft zu erzeugen vermag. Der zusätzliche Anstieg der Federkraft nach dem Schließen des Kontakts (durch Deformation der Haltestege 25) ist in Fig. 6 nicht eigens berücksichtigt.

In Fig. 7 ist schematisch (ohne Berücksichtigung der wahren Größenverhältnisse) eine weitere Ausführungsform eines mikromechanischen Hybridrelais dargestellt, wobei die tatsächlichen Größenverhältnisse zugunsten der Anschaulichkeit vernachlässigt werden. Dabei ist ein Basissubstrat 51 vorgesehen, welches beispielsweise aus Silizium, vorzugsweise jedoch auch aus Pyrex-Glas, bestehen kann. Auf diesem Basissubstrat 51 ist ein Ankersubstrat 52 angeordnet und befestigt, das vorzugsweise aus Silizium bestehen kann. In diesem Ankersubstrat 52 ist ein zungenförmiger Anker 53 als freigeätzter Oberflächenbereich ausgebildet. Das Basissubstrat 51 und das Ankersubstrat 52 sind mit freigeätzten Bereichen an ihren Rändern so verbunden, daß der Anker 53 in einem geschlossenen Kontakttraum 54 liegt.

Der Anker besitzt an seinem freien Ende ein Ankerkontaktstück 55, das mit einem feststehenden Gegenkontaktelement 56 des Basissubstrats zusammenwirkt. Weiterhin ist auf dem Anker an seinem der Basis zugewandten Oberflächenbereich eine Ankerelektrode 57 in Form einer Metallschicht angeordnet, die ihrerseits einer Basiselektrode 58 des Basissubstrats gegenübersteht. Diese beiden Elektroden 57 und 58 bilden einen elektrostatischen Antrieb für das Relais. Die Basiselektrode 58 ist dabei auf einem abgeschrägten Abschnitt 59 des Basissubstrats angeordnet, so daß die Ankerelektrode 57 im angezogenen Zustand des Ankers — wie in Fig. 7 dargestellt — durchgehend parallel auf der Basiselektrode 58 aufliegt.

Zusätzlich besitzt der Anker 53 einen piezoelektrischen Antrieb in Form einer Piezoschicht 60, welche als Biegewandler arbeitet und vor allem zu Beginn der Ankerbewegung die notwendige Anzugskraft für den Anker aufbringt.

Obwohl in Fig. 7 nur andeutungsweise mit 64 dargestellt, müssen natürlich elektrische Zuleitungen zu den Kontaktstücken 55 und 56 sowie zu den Elektroden 57 und 59 und zu den nicht weiter dargestellten Elektroden des piezoelektrischen Wandlers 60 vorgesehen werden. Diese Zuleitungen werden in üblicher Schichttechnik aufgebracht, wobei natürlich einzelne Leiterbahnen in einer Ebene nebeneinander liegen können. So kann die Zuleitung zu dem beweglichen Kontaktstück 55 mit der Elektrode 57 in einer Ebene liegen und innerhalb dieser Ebene von dieser durch entsprechende Zwischenräume

getrennt sein, wie dies ähnlich in Fig. 1 gezeigt ist. Das Zungenende des Ankers 53 kann auch durch Längsschlüsse beispielsweise in drei gegeneinander bewegbare Enden aufgeteilt werden. Auf diese Weise könnte das mit dem Kontaktstück 55 versehene Zungenende sich zur Erhöhung der Kontaktkraft elastisch durchbiegen, während die seitlichen Zungenenden mit der auf ihnen liegenden Elektrodenschicht flach auf der Basiselektrode 58 aufliegen. Nur der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß die Isolierung von Schichten unterschiedlichen Potentials durch geeignete Isolationsschichten sichergestellt wird, obwohl diese Schichten nicht eigens dargestellt sind.

In Fig. 8 sind die das Relais bildenden zwei Teile vor dem Zusammenbau in etwas vergrößerter Darstellung noch einmal gezeigt, um die Schichten etwas deutlicher hervorzuheben. Es sei jedoch betont, daß in dieser schematischen Darstellung die geometrischen Verhältnisse nicht maßstäblich den tatsächlichen Längen und Dicken der einzelnen Schichten entsprechen. Bei der Herstellung wird aus dem Ankersubstrat 52 die den Anker 53 bildende Zunge durch selektives Ätzen freigelegt. Diese Zunge besteht also aus Silizium wie das Substrat selbst, ist jedoch durch Dotierung ätzresistent gemacht. Darauf wird eine SiO_2 -Schicht als Isolationsschicht erzeugt und auf diese wiederum wird eine Metallschicht aufgebracht, welche beispielsweise aus Aluminium besteht und einerseits die Ankerelektrode 57, andererseits aber auch die Zuleitung für das Kontaktstück 55 und die innere Elektrode 61 für die danach aufzubringende piezoelektrische Schicht 60 bildet. Soweit die metallischen Flächen oder Leitungen gegeneinander isoliert werden müssen, erfolgt dies durch entsprechende Längsunterbrechungen. Nach der piezoelektrischen Schicht 60 wird deren äußere Elektrode 62 ebenfalls als Metallschicht aufgebracht. Am freien Ende der Zunge bzw. des Ankers 53 wird das Kontaktstück 55 galvanisch aufgebracht. Außerdem kann das vordere Ende der Zunge durch zwei Schlüsse in eine Schaltfeder und zwei seitlich liegende elektrostatische Ankerelemente unterteilt sein.

Die Basis wird aus einem Basissubstrat 51 ebenfalls durch Ätzen aus Silizium oder aus Pyrex-Glas hergestellt. In einem ersten Ätzschritt wird anisotrop oder isotrop eine Wanne 54a hergestellt, deren Boden parallel zur Waferoberfläche ist. In einem zweiten Ätzschritt wird dann in den Wannenboden mit einer an sich bekannten Technik eine keilförmige Ausnehmung zur Erzeugung der Schräge 59 geätzt, die in einem flachen Winkel gegen die Oberfläche des Substrats geneigt ist. Die Neigung ist in der Zeichnung übertrieben dargestellt. Bei einem praktischen Beispiel liegt der Winkel in der Größenordnung von 3° . Auf die geätzte Oberflächenform wird dann eine Metallschicht zur Bildung der Basiselektrode 58 und der erforderlichen Zuleitungen erzeugt. Das Kontaktstück 56 wird galvanisch erzeugt. Außerdem wird eine Isolationsschicht 63, beispielsweise aus SiO_2 , in herkömmlicher Weise aufgebracht. In einer möglichen Abwandlung kann auch die piezoelektrische Schicht 60 über die gesamte Länge der Zunge erstreckt werden. In diesem Falle würde sie als Isolationsschicht zwischen den Elektroden 57 und 58 wirken, so daß die zusätzliche Isolationsschicht 63 entbehrlich wäre.

Die beiden Substrate 51 und 52 werden in bekannter Weise, beispielsweise durch anodisches Bonden, zusammengefügt. Dabei werden auch die entsprechenden Zuleitungen zu den Metallschichten vorgesehen, ohne daß dies in der Figur näher dargestellt zu werden braucht.

Die elektrische Beschaltung des Relais von Fig. 7 und

8 kann beispielsweise analog zu Fig. 5 erfolgen.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Relais mit mindestens einem Basissubstrat (1; 51), welches eine flächige Basiselektrode (11; 58) und zumindest ein feststehendes Gegenkontaktstück (12; 56) trägt, mit mindestens einem flachen Anker (21; 53), welcher an mindestens einer Seite elastisch mit einem Träger (2; 52) verbunden ist und eine der Basiselektrode (11; 58) gegenüberliegende Ankerelektrode (23; 57) sowie ein dem Gegenkontaktstück (12; 56) gegenüberliegendes Ankerkontaktstück (24; 26; 55) aufweist, derart, daß bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Ankerelektrode (23; 57) und der Basiselektrode (11; 58) der Anker an das Basissubstrat angezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (21; 53) zumindest teilweise mit einer als Biegewandler wirkenden Piezschicht (27; 60) versehen ist, deren Biegekraft bei Erregung die elektrostatische Anzugskraft zwischen der Basiselektrode und der Ankerelektrode unterstützt.
2. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (21) in Plattenform innerhalb eines rahmenförmigen Ankersubstrats (2) als Träger über mindestens zwei elastische Lagerbänder (22) symmetrisch parallel zur Basiselektrode (11) gehalten ist und bei Anlegen einer Spannung zwischen der Basiselektrode (11) und der Ankerelektrode (23) sich senkrecht zur Elektrodenebene ganzflächig an die Basiselektrode anlegt, wobei zumindest ein Teil der Lagerbänder (22) mit der Piezschicht (27) versehen ist.
3. Relais nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Ankerkontaktstück (24; 26; 55) eine flexible Stromzuführung (26a) aufweist.
4. Relais nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (21) mit seinen Lagerbändern (22) durch Schichtabtragung und Freilegung aus einem einstückigen Substrat (2), vorzugsweise aus Silizium, gebildet ist.
5. Relais nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Ankersubstrat (2) 45 dem Basissubstrat (1) gegenüberliegend ein Deckelsubstrat (3) angeordnet ist, welches ein Ruhekontaktstück (32) trägt, an welchem das Ankerkontaktstück (26) im Ruhezustand unter mechanischer Vorspannung anliegt.
6. Relais nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Deckelsubstrat eine zusätzliche Deckelelektrode besitzt, welche mit der Ankerelektrode (23) einen zusätzlichen elektrostatischen Antrieb zur Ankerrückstellung bildet.
7. Relais nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagerbänder (22) jeweils parallel zu den Seiten des Ankers (21) zwischen diesem und dem rahmenförmigen Ankersubstrat (2) angeordnet und jeweils an einem Ende mit dem Ankersubstrat (2) und an dem anderen Ende mit dem Anker (21) verbunden sind.
8. Relais nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (53) in Form einer die Ankerelektrode (57) und die Piezschicht (60) tragenden Zunge 65 einseitig mit einem Ankersubstrat (52) schwenkbar verbunden ist.
9. Relais nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,

daß die Basiselektrode (58) auf einem schräg geätzten Abschnitt des Basissubstrats (51) angeordnet ist, derart, daß die Ankerelektrode (57) mit ihr im Ruhezustand einen keilförmigen Luftspalt bildet und sich im Erregungszustand annähernd parallel an sie anlegt.

10. Relais nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (53) aus einer dreiseitig freigelegten, unterätzten Oberflächenschicht eines aus Halbleitermaterial, insbesondere Silizium, bestehenden Ankersubstrats (52) gebildet ist und daß das aus Silizium oder Pyrex-Glas gebildete Basissubstrat (51) mit der Oberfläche des Ankersubstrats (52) verbunden ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

FIG 1

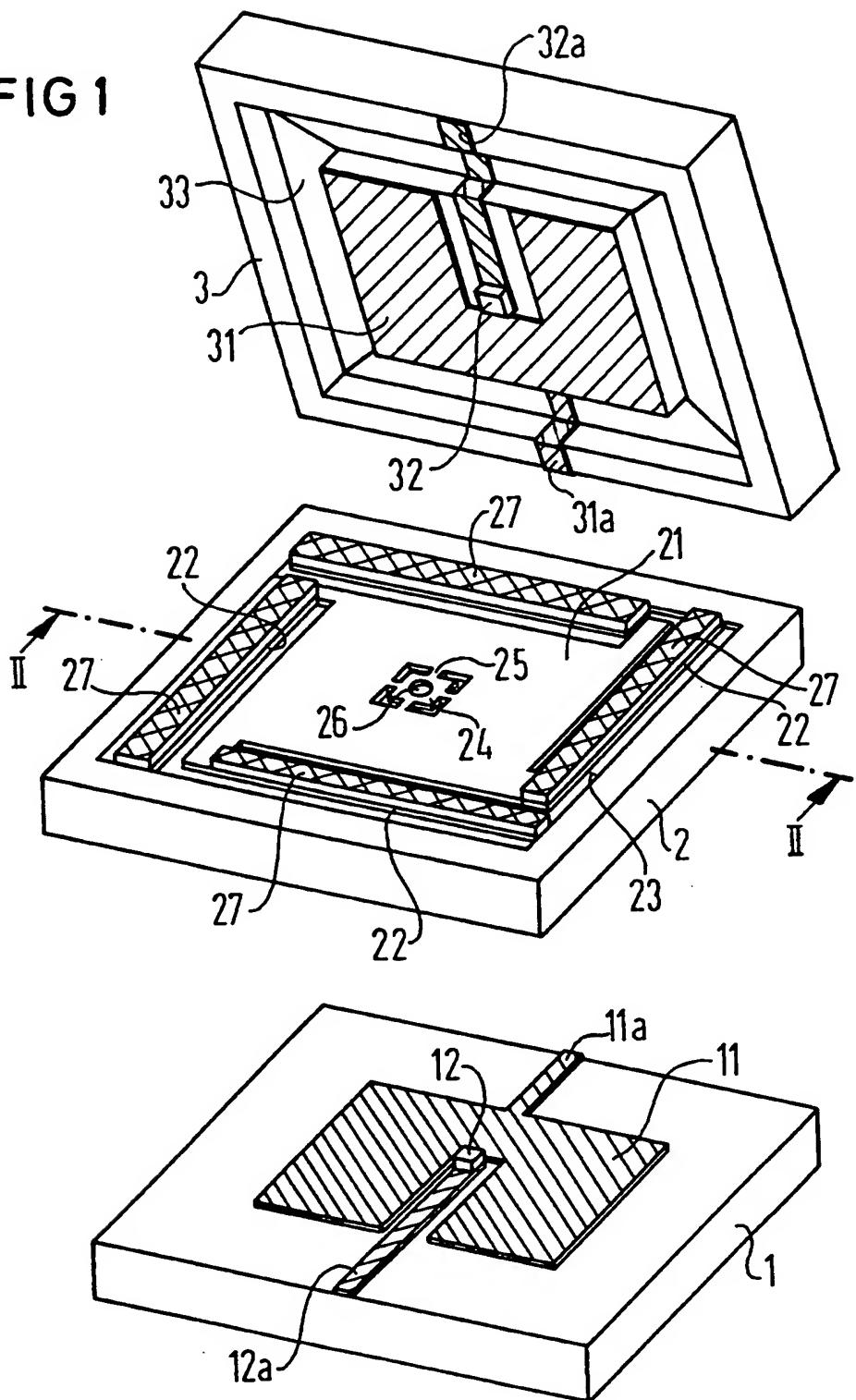
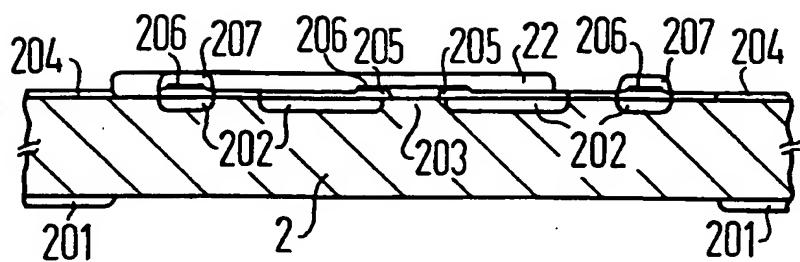
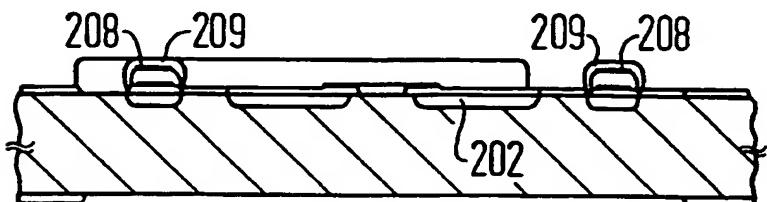


FIG 2

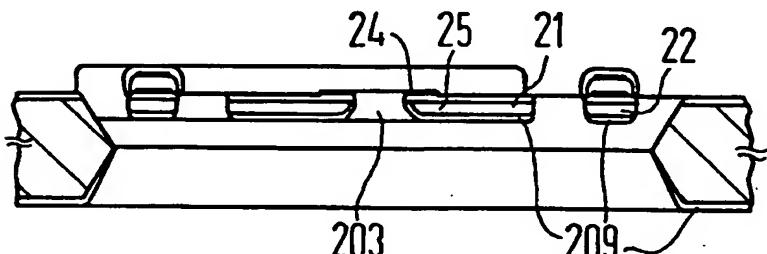
a)



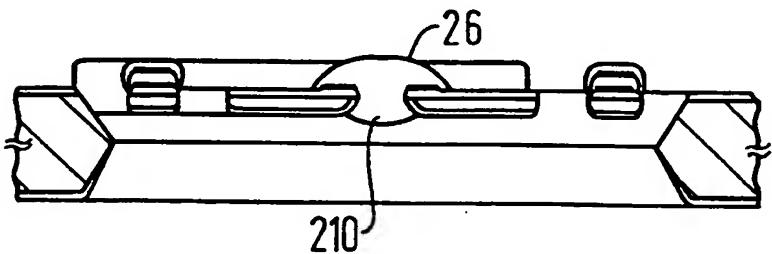
b)



c)



d)



e)

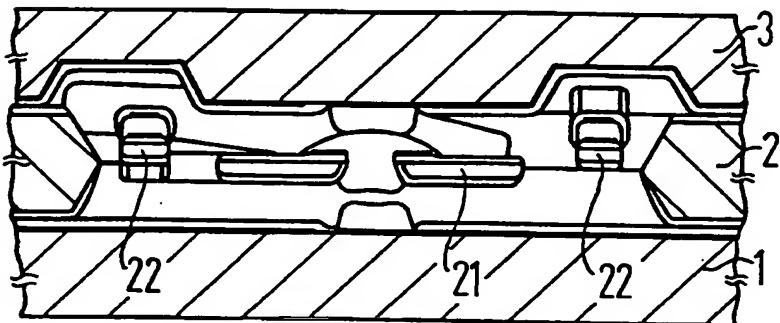


FIG 3

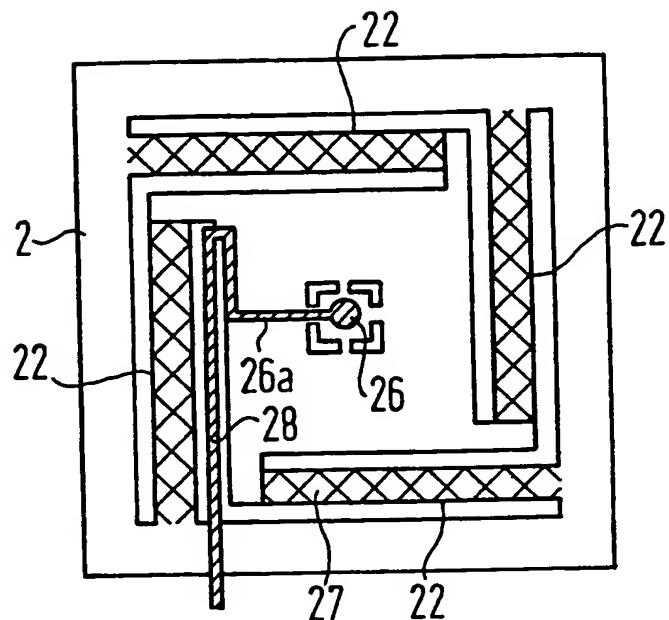


FIG 4

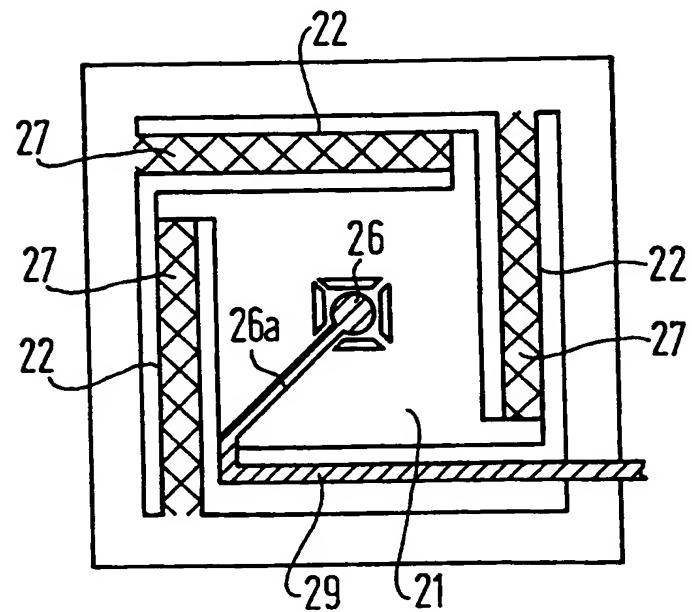


FIG 5

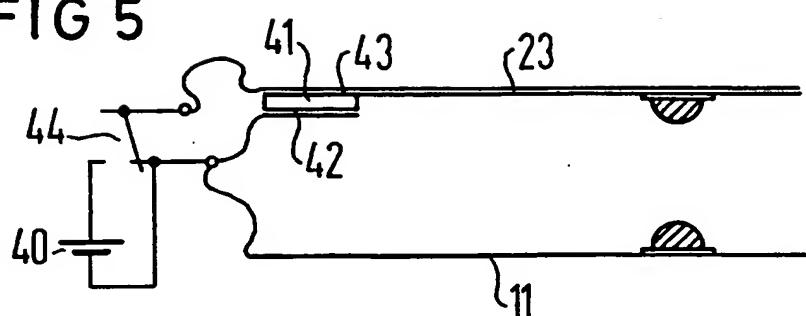


FIG 6

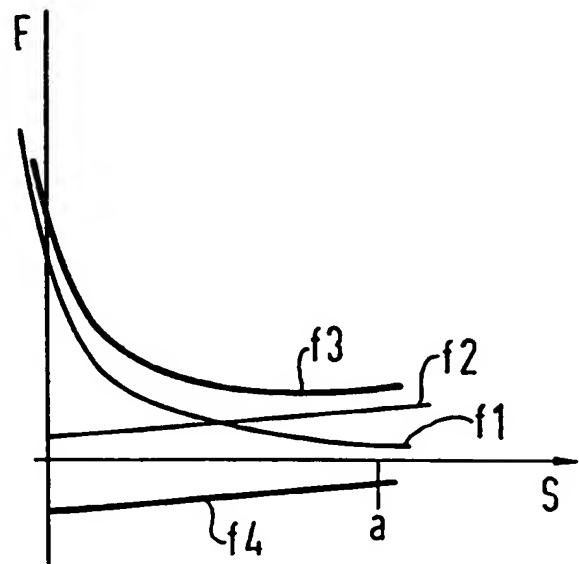


FIG 7

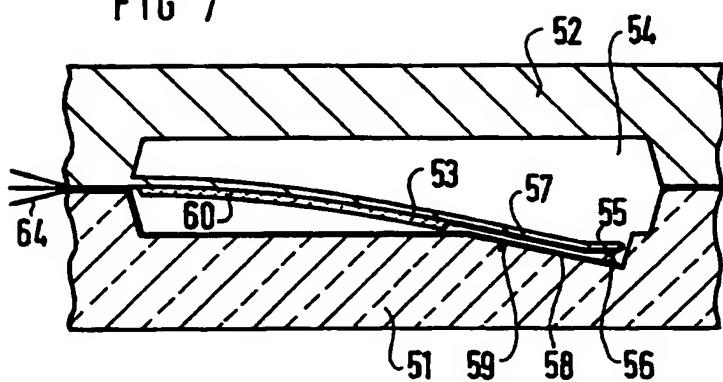


FIG 8

